

Quantification du facteur K caractéristique des canaux de propagation reproduits en chambre réverbérante à brassage de modes

Mihai-Ionut Andries, Philippe Besnier, Christophe Lemoine
INSA de Rennes, Groupe Antennes & Hyperfréquences
mihai-ionut.andries@insa-rennes.fr tél. 02.23.23.87.44

Le canal de propagation joue un rôle essentiel dans la performance d'un système sans fil. Connaissant les paramètres du canal, un système peut s'adapter aux conditions de la transmission. Pour un canal de communication sans fil, les divers trajets entre l'émetteur et le récepteur sont le résultat de phénomènes de réflexions, diffractions et diffusions. Le signal reçu est alors composé d'une somme de signaux complexes avec différentes amplitudes, phases, et décalages de fréquence Doppler.

L'effet sur l'enveloppe du signal reçu décrit par des fluctuations rapides est appelé évanouissement, et est modélisé comme un processus aléatoire. Ce processus peut être généralement modélisé par une distribution de Rayleigh lorsqu'aucune composante spéculaire n'existe, ou bien avec une distribution Rice en présence d'une composante spéculaire [1]. Même si le transmetteur est hors de la ligne de vue, les objets environnants peuvent agir comme une sorte de guide d'onde, générant une composante spéculaire au point de réception [2].

Différents paramètres permettent de caractériser un canal : le rapport signal sur bruit, le profil des retards en puissance (délai moyen, dispersion des retards), la bande de cohérence, le temps de cohérence, le spectre Doppler, le facteur de diffraction, etc. En particulier le facteur K de canaux de type Rice est couramment utilisé pour de nombreuses applications. Le facteur K indique la sévérité des évanouissements rapides sur la réception du signal. Il est défini comme le rapport de la puissance moyenne de la composante spéculaire (la composante déterministe) sur la puissance moyenne des composantes diffuses (composantes aléatoires) [3]. La distribution du facteur K dépend de divers paramètres de la liaison : par exemple, la disposition des antennes (hauteur, distance entre antennes), la largeur de faisceau, les gains des antennes, la distribution de la diffusion, etc.

Les chambres réverbérantes (CR) ont été initialement mises en place afin de tester la compatibilité électromagnétique (CEM) des dispositifs électroniques. La principale caractéristique de l'environnement d'une telle cavité est l'uniformité statistique du champ électromagnétique.

Ce n'est que bien plus tard que des études ont été proposées pour utiliser la CR pour une toute nouvelle application loin de son objectif initial : la reproduction artificielle des canaux de propagation typiques de ceux qui sont observés dans l'environnement mobile. L'objectif sous-jacent est l'évaluation de la capacité de telles cavités à tester les systèmes de communication radio, en particulier les canaux affectés par des réflexions multiples. La CR est un cas très particulier d'environnement électromagnétique parce que les murs de la CR sont des conducteurs métalliques quasiment parfaits (ayant un grand coefficient de réflexion), alors que divers éléments (murs des bâtiments, végétation, etc.) dans les scénarios réalistes introduisent des pertes.

Le problème principal dans la mise en œuvre expérimentale d'un canal de propagation est de trouver quelles sont les valeurs de facteur K rencontrées dans les environnements réels, pour les comparer ensuite avec les valeurs trouvées dans la CR en supposant que l'on estime correctement le canal. Il semble que généralement les facteurs K peuvent évoluer sur une gamme de valeurs importante. En particulier, l'estimation de K peut être instable et la qualité de cette estimation dépend de la méthode choisie.

Pour chaque configuration, c'est à dire en fonction de l'équipement et de la plage du facteur K estimé, seulement certains estimateurs méritent d'être utilisés. C'est l'objet du poster que nous proposons : proposer une analyse permettant de déterminer quel est l'estimateur à employer dans chaque situation que l'opérateur peut rencontrer.

Le calcul du facteur K peut être fait par la mesure de l'enveloppe et de la phase du signal comme cela a été proposé par [4]. Dans cette étude, l'auteur extrait le facteur K à partir des échantillons de

l'enveloppe et de la phase indépendamment et identiquement distribués (*i.i.d.*) en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance de la fonction de densité de probabilité jointe, qui est moins sensible au bruit et aux erreurs de mesure.

Une autre option est l'utilisation de l'enveloppe complexe, présentée par [5], [6]. La méthode est assez simple, en utilisant la moyenne et la variance de la somme des échantillons IQ. La prise en compte d'un facteur de correction permet de donner un résultat satisfaisant dans un grand intervalle de valeurs de facteurs K. En outre, pour augmenter le nombre de réalisations et obtenir une estimation non biaisée du facteur K, l'utilisation du brassage fréquentiel a été adoptée [7].

Le facteur K peut être aussi calculé en utilisant uniquement la phase du signal. Dans [4] une méthode du maximum de vraisemblance a été proposée pour obtenir une estimation de K à partir d'une approximation qui fonctionne bien pour les grandes valeurs de K. Cet estimateur ne peut pas être utilisé proprement lorsque la composante spéculaire devient très faible.

D'autres méthodes, plus simples que les méthodes mentionnées ci-dessus, utilisent uniquement l'enveloppe du signal. Le facteur K est alors calculé en assimilant une fonction de K à un rapport des moments mesurés de la distribution de l'enveloppe [8], [9]. Ces estimateurs ont retenu une attention particulière en raison de leur simplicité et de l'efficacité du calcul.

Afin de valider et de vérifier l'utilité des diverses méthodes permettant de déterminer le facteur K, plusieurs simulations et expériences dans la chambre réverbérante ont été effectuées.

Les simulations ont été faites pour voir si la stabilité d'une estimation est influencée par le nombre limité d'expériences, qui, dans un cas réel, est conditionné par l'indépendance des échantillons. L'analyse de ces estimateurs et, au final, l'intervalle d'utilisation associé, est établi en fonction du nombre de valeurs rejetées (le nombre de valeurs complexes ou négatives), l'intervalle de confiance à 95% et le biais entre l'espérance de K (estimée par 10000 tirages) et la valeur réelle.

La vérification de l'utilité des diverses méthodes pour estimer le facteur K dans la CR a été faite par des expériences multiples dans des configurations différentes (en changeant la fréquence de travail, le type d'antennes et la distance entre elles, en chargeant ou non la chambre avec des absorbants). Le brassage mécanique a été utilisé pour créer une distribution statistique des modes, tandis que le brassage fréquentiel permet d'enrichir cette distribution en augmentant le nombre de réalisations.

Pour les mêmes niveaux d'incertitude, les simulations et les mesures montrent que les estimateurs qui utilisent l'enveloppe et la phase sont moins susceptibles d'être biaisés, par rapport aux estimateurs qui utilisent seulement l'enveloppe. Ces derniers estimateurs sont beaucoup plus affectés par les erreurs introduites par la détection de faibles niveaux. Une augmentation du nombre d'essais peut améliorer ces estimateurs, mais en CR ce nombre est limité par la quantité d'échantillons indépendants. Si les distances entre les antennes ne sont pas très grandes, c'est-à-dire 1 à 2 mètres, la valeur de l'estimateur est particulièrement influencée par l'incertitude statistique, alors que de plus grandes distances engendrent des composantes spéculaires qui peuvent influencer de manière significative l'estimation de K.

Bibliographie

- [1] G. Stüber, Principles of Mobile Communication, 2nd Ed. Boston: Kluwer Academic, 2001.
- [2] F. van der Wijk, A. Kegel, and R. Prasad, "Assessment of a pico-cellular system using propagation measurements at 1.9 GHz for indoor wireless communications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 44, no. 1, pp. 155–162, 1995.
- [3] J. D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, 2nd. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [4] Chen, Y. & Beaulieu, N. C. Maximum likelihood estimation of the K factor in Rician fading channels IEEE Communications Letters, 2005, 9, 1040-1042
- [5] C. L. Holloway, D. A. Hill, J. M. Ladbury, P. F. Wilson, G. Koepke, and J. Coder, "On the use of reverberation chambers to simulate a rician radio environment for the testing of wireless devices", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 54, no. 11, pp. 3167–3177, 2006.
- [6] C. Lemoine, P. Besnier, and M. Drissi, "Advanced method for estimating direct-to-scattered ratio of rician channel in reverberation chamber", Electronics Letters, vol. 45, no. 4, pp. 194–196, 2009.
- [7] C. Lemoine, P. Besnier, and M. Drissi, "Estimating the effective sample size to select independent measurements in a reverberation chamber," IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, vol. 50, no. 2, pp. 227–236, 2008.
- [8] G. Azemi, B. Senadji, and B. Boashash, "Estimating the rician K-factor for mobile communication applications", in Signal Processing and Its Applications, 2003. Proceedings. Seventh International Symposium on, vol. 2, pp. 311–314 ; 2003.
- [9] C. Tepedelenlioglu, A. Abdi, and G. Giannakis, "The Rician K-factor: Estimation and performance analysis", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 2, no. 4, pp. 799–810, Jul. 2003.